

# Micro-formage de composants à partir de tôles ultra-fines en alliages de cuivre

F. ADZIMA<sup>a,b</sup>, T. BALAN<sup>a</sup>, P-Y. MANACH<sup>b</sup>, J-L. DIOT<sup>c</sup>,  
L. TABOUROT<sup>d</sup>

a. Arts et Métiers ParisTech, C.E.R de Metz, LEM3 UMR CNRS 7239, 57078 Metz, France

b. Univ. Bretagne-Sud, LIMATB EA 4250, 56100 Lorient, France

c. NovaPack SAS, 14 Rue des Glairaux, 38120 Saint Egrève, France

d. Univ. Savoie, SYMME, 74944 Annecy Le Vieux, France

## Résumé :

*La miniaturisation de nombreux produits et systèmes entraîne le développement permanent de micro - systèmes électro mécaniques (M.E.M.S). En raison de leurs taux de production élevés, les procédés de mise en forme demeurent la solution technologique la plus courante pour la fabrication de ces pièces miniatures. Toutefois, en raison des dimensions et épaisseurs (de l'ordre de 100 microns ) en jeu, les procédés de micro-formage se révèlent instables et affectés par une grande variabilité. Nos travaux visent à mettre en place une modélisation numérique efficace et précise de ces procédés dans le but de s'en servir comme outil d'optimisation des outillages et procédés. Les deux approches de modélisation développées sont mises en œuvre sur le cas industriel de pliage des leads d'un boîtier électronique LQFP.*

Afin de caractériser finement le comportement de l'alliage choisi, une vaste campagne expérimentale a été menée. Il s'agit d'un alliage de Cu (CuFe2P) utilisé dans la fabrication des boîtiers LQFP de la société NovaPack (figure 1).

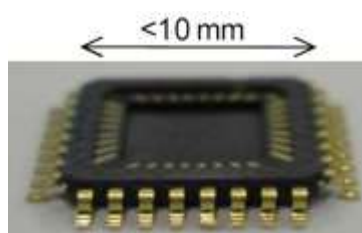


Figure 1 : Boîtier LQFP (Courtesy of NovaPack)

Des essais de traction uniaxiale à 0, 45 et 90° de la direction de laminage ont été effectués pour caractériser l'anisotropie du matériau ainsi que des essais de cisaillement monotone et cyclique pour déterminer les effets d'un éventuel écrouissage cinématique. Des essais de traction uniaxiale avec des sauts de vitesse de déformation ont permis d'évaluer la contribution de la viscosité sur la réponse du matériau. Enfin, le comportement multiaxial dans le plan a été investigué avec des essais d'expansion biaxiale.

Une approche phénoménologique a été développée pour modéliser les observations expérimentales. Le modèle retenu est élasto-viscoplastique et comporte un critère de plasticité anisotrope de Bron et Besson [1] et un écrouissage mixte composé d'un écrouissage isotrope de type Voce et d'un

écrouissage cinématique de type Armstrong-Frederick-Prager. Le modèle a été implanté dans ABAQUS/Standard via UMAT et l'identification des paramètres a été réalisée avec le progiciel SiDoLo [2] par méthode inverse à partir de la base expérimentale constituée.

De plus, le faible nombre de grains dans l'épaisseur de la tôle (une dizaine) impose de considérer les hétérogénéités dans la tôle qui ne peuvent être prises en compte par le modèle phénoménologique. Une seconde approche basée sur la théorie de la plasticité cristalline a donc été développée en incluant les mécanismes physiques (glissement de plans cristallographiques, orientations préférentielles) qui sous-tendent la plasticité à l'échelle du monocristal. Le modèle de plasticité cristalline retenu [3] est implanté dans ABAQUS via une VUMAT et une UMAT dans le formalisme des grandes déformations. Le passage du monocristal au polycristal est effectué via l'homogénéisation par éléments finis qui nécessite une description géométrique de la microstructure du matériau. A partir de cartographies expérimentales E.B.S.D., la microstructure du matériau est reproduite numériquement (prise en compte de l'orientation et de la morphologie des grains) à l'aide du logiciel Germination [4]. Les paramètres du modèle sont identifiés, par méthode inverse, sur un essai de traction à l'aide de simulations sur un volume élémentaire représentatif. Cette approche se révèle adaptée à la problématique industrielle, les faibles dimensions des pièces étudiées nous assurant d'avoir un faible nombre de grains et donc un temps de calcul raisonnable. L'usage du calcul parallèle sur de telles applications donne donc la possibilité d'effectuer du calcul de structures réelles en partant du comportement du cristal sans hypothèses de champs moyens.

Les deux approches sont comparées sur la simulation numérique du procédé de mise en forme par déformation plastique des inserts métalliques (ou leads) du boîtier LQFP présenté en figure 1.

Le boîtier complet comporte 32 leads mais pour des raisons de symétrie, seuls les calculs sur une lead sont présentés. Après moulage de la résine du boîtier, les leads sont cambrés par un poinçon. Les étapes de cambrage et de retour élastique sont simulées. Une étude de convergence sur le nombre de grains nécessaires (modèle en plasticité cristalline) ainsi que la taille du maillage est menée et une analyse de l'état de contraintes, de déformation et de la valeur du retour élastique est effectuée.

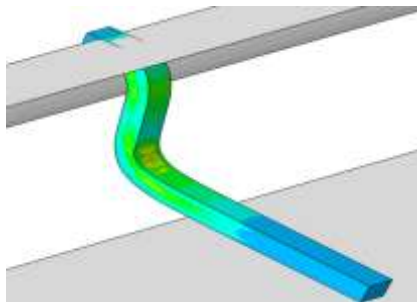


Figure 2 : Lead cambrée avec le modèle phénoménologique

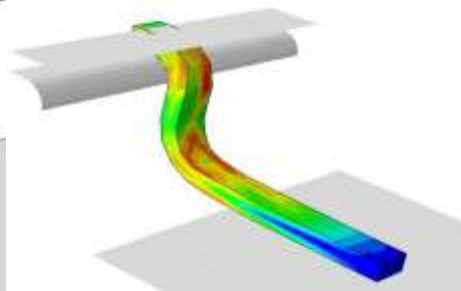


Figure 3 : Lead cambrée avec le modèle en plasticité cristalline

## Références

- [1] Bron, F. et Besson, J. A yield function for anisotropic materials application to aluminum alloys. *International Journal of Plasticity* 20, 2004, pp 937-963
- [2] SiDolo version 2.4495. Notice d'utilisation. Laboratoire de Génie Mécanique et Matériaux de l'université de Bretagne-Sud, Lorient, France, 2003.
- [3] Peirce, D., Asaro, R. et Needleman, A. An analysis of nonuniform and localized deformation in ductile single crystals. *Acta Metallurgica* 30, 1982, pp 1087-1119.
- [4] Bonnet, N. Contribution à l'étude expérimentale et numérique du comportement des toles d'épaisseur submillimétrique. Thèse de doctorat, 2007, E.N.S.A.M.